

ESTIMATIVA E REGIONALIZAÇÃO DAS VAZÕES MÍNIMAS ANUAIS E QUADRIMESTRAIS NA BACIA DO PIRACICABA-MG

Luana Lisboa¹ Lucas de Paula Corrêdo²; Demetrius David da Silva³; Eduardo Morgan Uliana⁴; Michel Castro Moreira⁵

1. Pós-Graduada em Engenharia Agrícola do Departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Viçosa, Viçosa – MG, Brasil (luanaeaufv@yahoo.com.br)
2. Graduando em Engenharia Agrícola e Ambiental do Departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Viçosa,
3. Professor Doutor do Departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Viçosa
4. Pós-Graduando em Engenharia Agrícola do Departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Viçosa
5. Professor Doutor do Instituto de Ciências Ambientais e Desenvolvimento Sustentável da Universidade Federal da Bahia

Recebido em: 12/04/2014 – Aprovado em: 27/05/2014 – Publicado em: 01/07/2014

RESUMO

O estudo tem como objetivo estimar e regionalizar, pelo método Tradicional, as vazões mínimas de sete dias de duração e período de retorno de 10 anos ($Q_{7,10}$) anual e quadrimestrais da bacia do rio Piracicaba-MG. Para isso analisaram-se os dados de quatro estações fluviométricas pertencentes à rede hidrometeorológica da Agência Nacional de Águas, que permitiu estimar os valores de $Q_{7,10}$ nas seções transversais dos postos fluviométricos para os períodos anual e quadrimestrais. As equações de regionalização foram obtidas através do método Tradicional, que consiste da identificação das regiões hidrologicamente homogêneas e ajuste de regressões regionais entre as vazões mínimas e características físicas e climáticas da bacia de estudo. Foi definida uma região hidrologicamente homogênea, e obtidas às equações de regressão regionais para representação das vazões mínimas da bacia em função da área de drenagem, com coeficiente de determinação superior a 0,97 e erro padrão inferior a 0,20. As equações de regionalização determinadas permitem obter os valores de vazão anuais e quadrimestrais em qualquer seção ao longo da rede hidrográfica, estando de posse apenas da área de drenagem do local de interesse. Informação esta fundamental para um melhor aproveitamento e gestão de recursos hídricos da bacia, permitindo a flexibilização da disponibilidade hídrica ao longo do ano.

PALAVRAS-CHAVE: Gestão de recursos hídricos, sazonalidade, vazões mínimas de referência

ESTIMATION AND REGIONALIZATION OF THE MINIMUM DISCHARGE ANNUAL AND QUARTERLY IN PIRACICABA RIVER BASIN

ABSTRACT

This study was done to estimate and regionalize the minimum discharges associated with the minimum weekly discharge, a 10-year return period ($Q_{7,10}$) annual and quarterly of the Piracicaba river basin - MG. For this we analyzed data from four gauged stations belonging to the hydrometeorological network of National Water Agency, allowed to estimate the values of $Q_{7,10}$ in the cross sections of fluviometric stations for annual and quarterly periods. The regionalization equations were obtained by traditional method, which consists of identifying hydrologically homogeneous regions and adjust of regional regressions between minimum flows and physical and climatic characteristics. Was defined a hydrologically homogeneous region, and obtained the regression equations for regional representation of minimum flows in the basin as a function of drainage area, with a coefficient of determination greater than 0.97 and standard error less than 0.20. The equations of regionalization allows for certain values of annual and quarterly flow at any section along the river system, only from the drainage area of the interest place, information critical to a better use and management of water resources in the basin, allowing the flexibilization of water availability throughout the year.

KEYWORDS: minima discharges, seasonality e management of water resources

INTRODUÇÃO

Dados hidrológicos são pré-requisitos para qualquer atividade de planejamento e gestão de recursos hídricos, seja no projeto de barragens e centrais hidrelétricas, nos estudos de disponibilidade hídrica ou na previsão de enchentes (MASIH et.al., 2010).

O aproveitamento adequado dos recursos hídricos requer o uso de técnicas de planejamento que dependem de estimativas confiáveis dos dados hidrológicos, a citar as vazões mínimas, assim como suas distribuições espacial e temporal na bacia hidrográfica (BAENA, 2002).

A bacia do rio Piracicaba é uma sub-bacia do rio Doce, localizada na porção centro leste de Minas Gerais. Possui área de drenagem de 5.706 km² e abrange 21 municípios mineiros. A economia desta região é baseada em três atividades interligadas: mineração, siderurgia, celulose e papel, com alto grau de impacto ambiental, além de expressiva concentração urbana, sendo os recursos hídricos elementos chave no processo de crescimento econômico e desenvolvimento sustentável da bacia (CBH PIRACICABA, 2011), pois à medida que a demanda pelos recursos hídricos aumenta em relação a disponibilidade hídrica a probabilidade de conflitos pelo uso da água se acentua.

Nesse sentido, o conhecimento da disponibilidade hídrica é a informação básica para a tomada de decisão, porém as limitadas séries de dados fluviométricos disponíveis e a necessidade de conhecer a vazão ao longo da rede hidrográfica dificultam ou, muitas vezes, impedem a realização de uma adequada gestão de recursos hídricos (LISBOA et al., 2008).

Visando superar a carência de informações hidrológicas em locais com pouca ou nenhuma disponibilidade de dados, tem-se utilizado a técnica de regionalização de vazões, ou seja, otimizar espacialmente as informações disponíveis (MOREIRA, 2006; Mamun et al., 2010; Samuel et al., 2011). Entre os métodos de regionalização

de vazões mais difundidos encontra-se o método Tradicional, que é descrito em ELETROBRAS (1985) e consiste na identificação de regiões hidrologicamente homogêneas e no ajuste de equações de regressão regionais entre as diferentes variáveis a serem regionalizadas e as características físicas e climáticas das bacias de drenagem para cada região homogênea (NOVAES, 2005).

Pelo exposto, e considerando a necessidade de conhecimento das vazões ao longo da rede hidrográfica o objetivo do trabalho foi estimar e regionalizar, pelo método Tradicional, a vazão mínima média de sete dias de duração e período de retorno de 10 anos ($Q_{7,10}$) anuais e quadrimestrais da bacia do rio Piracicaba.

MATERIAL E MÉTODOS

Visando à estimativa e espacialização das vazões mínimas na bacia do rio Piracicaba foram analisadas as séries históricas de quatro estações fluviométricas (Quadro 1 e Figura 1), pertencentes à rede hidrometeorológica da Agência Nacional de Águas (ANA), disponibilizados no Sistema de Informações Hidrológicas.

QUADRO 1. Estações fluviométricas da bacia do rio Piracicaba

| Código | Estação | Latitude (Sul) | Longitude (Oeste) | Área de drenagem (km ²) | Curso d'água |
|----------|-------------------------|----------------|-------------------|-------------------------------------|------------------------|
| 56640000 | Carrapato (Brumal) | 19°58'18" | 43°27'32" | 426 | Ribeirão Santa Bárbara |
| 56610000 | Rio Piracicaba | 19°55'54" | 43°10'23" | 1163 | Rio Piracicaba |
| 56659998 | Nova Era IV | 19°45'56" | 43°1'58" | 3203 | Rio Piracicaba |
| 56696000 | Mario de Carvalho (PCD) | 19°31'27" | 42°38'27" | 5307 | Rio Piracicaba |

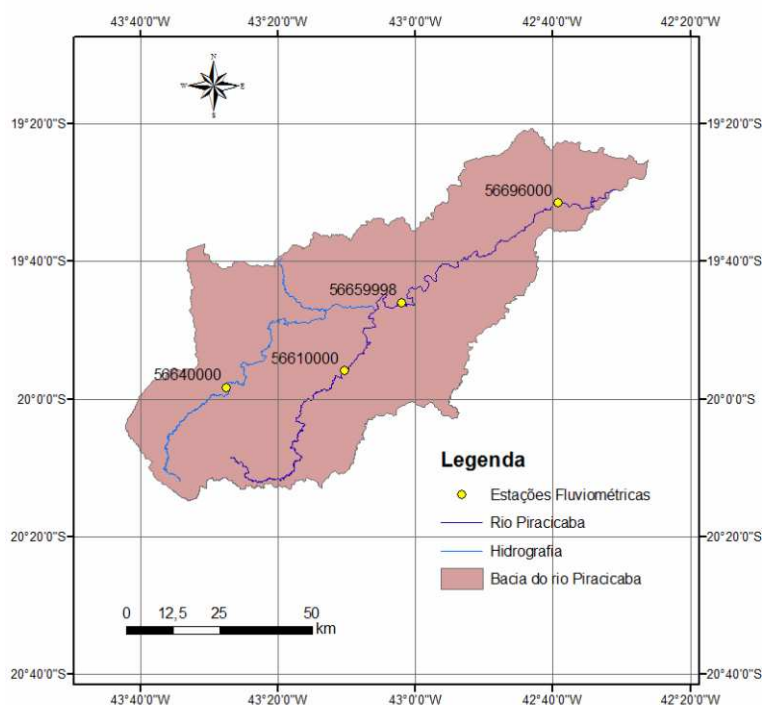


FIGURA 1. Mapa de localização das estações fluviométricas da bacia do rio Piracicaba.

Inicialmente foram elaborados diagramas de barras das estações fluviométricas a fim de definir o período de dados disponível em cada estação, e assim identificar o período-base, que ficou compreendido entre 1975 a 2005, caracterizando 31 anos de dados consistentes.

Para estimar e regionalizar as vazões mínimas de sete dias de duração e período de retorno de 10 anos ($Q_{7,10}$) optou-se por considerar, além do período anual, o período quadrimestral para avaliar a sazonalidade na disponibilidade hídrica, e assim permitir a flexibilidade dos critérios de outorga, particularmente nos períodos chuvosos do ano. Desta maneira, as vazões evidenciadas no período seco não serão limitantes em relação às outorgas em outros períodos do ano.

Sob a perspectiva do enfoque ecossistêmico na gestão dos recursos hídricos, é consensual a necessidade de representar a variação da disponibilidade hídrica nos critérios estabelecidos para análise dos processos de outorga (AGRA, 2009).

Dessa forma foi necessário a identificação dos quadrimestres seco, normal e chuvoso, utilizando-se para tal, a metodologia proposta por MARQUES (2010), que faz referência à Teoria de DOW (1984) para avaliação das movimentações do mercado financeiro. Os critérios norteadores da metodologia baseiam-se nos seguintes princípios:

1º Princípio - As médias descontam tudo:

Embora existam variações diárias na magnitude das vazões ao longo do ano e, ainda, variações interanuais, todos os registros do monitoramento são incorporados nas médias. Portanto, a distribuição anual das vazões médias mensais não basta para definir os intervalos com regime crítico homogêneo, pois as vazões críticas, mínimas de referência para a outorga, são amortecidas pela média.

2º Princípio - O regime hidrológico tem três tendências:

Neste caso, foram estabelecidas três tendências na situação da disponibilidade hídrica ao longo do ano: mínima, média e máxima. Na tendência de mínima ou período seco, as vazões observadas estão próximas da vazão mínima anual, devido à estiagem. Na tendência média ou período normal, não só as vazões observadas superam as vazões do período de escassez como se aproximam da média anual, e a ocorrência de eventos mínimos anuais é insignificante. Já a tendência de máxima é consequência do período chuvoso, que implica vazões observadas muito superiores à vazão mínima de referência tradicionalmente estabelecida com base no período mais seco do ano.

3º Princípio - As tendências ocorrem em três fases:

Segundo a teoria proposta para classificação do regime hidrológico crítico, as tendências podem apresentar fases distintas. São elas:

- Movimento: na primeira fase de cada período as vazões mínimas observadas movimentam-se no sentido da tendência: mínima ou máxima.
- Estabilização: nesta fase não ocorrem grandes variações nas vazões mínimas observadas. Na tendência média não ocorre esta fase, visto que a recessão das chuvas implica a redução contínua das vazões de base.
- Reversão: durante esta fase, o movimento se inverte e as vazões retornam contra a tendência. A tendência de média não apresenta reversão.

4º Princípio - As médias devem confirmar a tendência:

Por médias entendem-se as médias das vazões mínimas com sete dias de duração (Q_7) em cada período ou tendência. O princípio estabelece que a média das vazões mínimas observadas em cada período deve confirmar as tendências de máxima, média ou mínima. Em síntese, a tendência de máxima ou período chuvoso deve apresentar a vazão mínima mais elevada e a tendência de mínima ou período seco, a menor disponibilidade hídrica. A tendência de média ou período normal deve se confirmar pela vazão mínima próxima da média anual.

5º Princípio - As tendências são confirmadas pela vazão mínima:

Enquanto o princípio anterior avalia a magnitude e a duração das vazões mínimas (Q_7), este princípio objetiva avaliar a frequência. Estabelece que a frequência de ocorrência da Q_7 no período regido por cada tendência confirma o agrupamento de meses com riscos homogêneos de ocorrência de situações críticas em disponibilidade hídrica.

6º Princípio - Os riscos comprovam as tendências:

O último princípio concilia a identificação dos períodos sazonais com a finalidade de flexibilizar os critérios utilizados no processo de outorga, estabelecendo que a vazão mínima ($Q_{7,10}$) precisa confirmar a sazonalidade das tendências. Atendendo este princípio, existe a garantia da flexibilidade ao adotar vazões mínimas de referência específicas para cada período estabelecido.

A flexibilidade sazonal da Q_7 e $Q_{7,10}$ foi avaliada comparando-se os valores dos quadrimestres com as vazões mínimas obtidas com base no período anual. Nessa comparação foi verificada a diferença percentual ($Dp\%$) considerando a adoção das vazões mínimas de referência dos períodos quadrimestrais com o período anual, conforme a Equação 1:

$$Dp(\%) = \frac{Q_{\text{sazonal}} - Q_{\text{anual}}}{Q_{\text{anual}}} \times 100 \quad (1)$$

em que:

Q_{sazonal} = vazão estimada em base sazonal, m^3s^{-1} ; e

Q_{anual} = vazão estimada em base anual, m^3s^{-1} .

Na determinação da $Q_{7,10}$ foi identificado, para cada período considerado no estudo e para cada estação fluviométrica, o valor da vazão mínima pertinente à duração de sete dias (Q_7), para então estabelecer o modelo probabilístico com melhor ajuste às séries de Q_7 . Os modelos probabilísticos que foram analisados para representar a vazão mínima foram: Log-Normal a dois parâmetros, Log-Normal a três parâmetros, Pearson tipo III, Log-Pearson tipo III e Weibull. Para obtenção da $Q_{7,10}$ foi utilizado o software SisCAH.1.0 – Sistema Computacional para Análises Hidrológicas desenvolvido pelo Grupo de Pesquisa em Recursos Hídricos da UFV (www.ufv.br/dea/gprh).

Em seguida, a obtenção das equações de regionalização de vazões pelo método Tradicional foi realizada em duas etapas, que envolveram a identificação das regiões hidrologicamente homogêneas e o ajuste de regressões regionais entre as vazões mínimas e a área de drenagem da bacia.

Para obtenção das equações de regionalização foi utilizado o software SisCORV.1.0 – Sistema Computacional para Regionalização de Vazões,

desenvolvido pelo Grupo de Pesquisa em Recursos Hídricos da UFV (www.ufv.br/dea/gprh).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para a aplicação dos critérios de identificação dos quadrimestres, inicialmente fez-se à análise do padrão de distribuição das vazões específicas médias, máximas e mínimas mensais para a bacia do Piracicaba como apresentado nas Figuras 2, 3 e 4.

Pelos gráficos apresentados observa-se que de forma geral a distribuição das vazões específicas médias, máximas e mínimas mensais revelou que o início do aumento dos valores observados ocorre no mês de outubro. Assim, no estudo da sazonalidade hídrica das vazões máximas, considerou-se o ano hidrológico como tendo início no mês de outubro e término no mês de setembro do ano seguinte, uma vez que o período chuvoso começa nos últimos meses do ano e continua nos meses seguintes do próximo ano sendo importante a continuidade do evento. No estudo das médias e mínimas anuais, o período utilizado foi o ano civil.

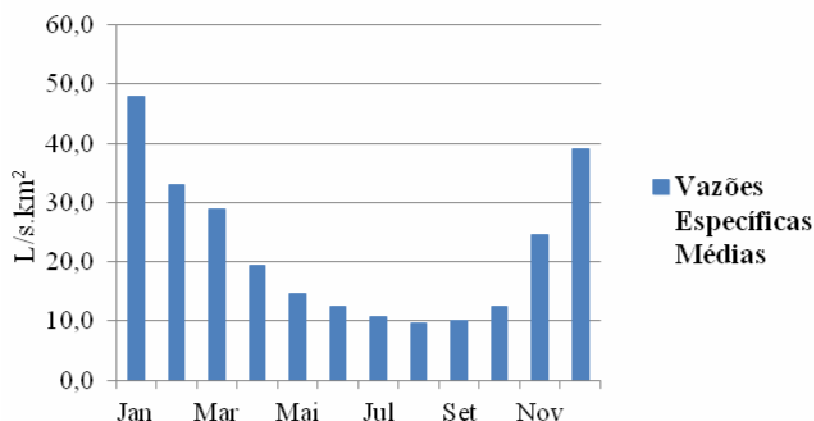


FIGURA 2. Distribuição mensal das vazões específicas médias.

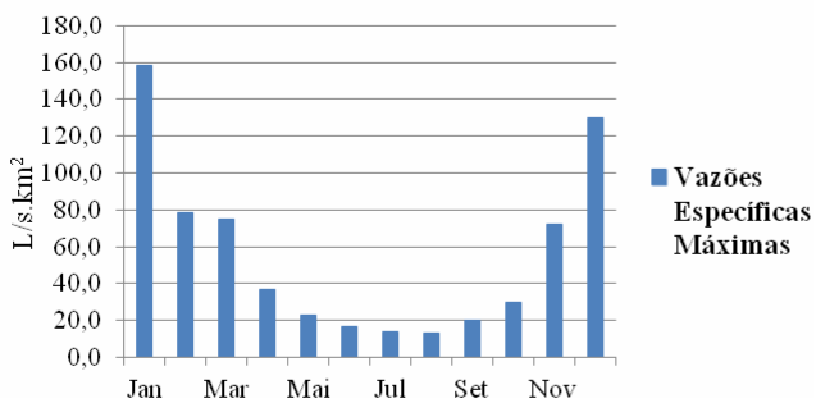


FIGURA 3. Distribuição mensal das vazões específicas máximas.

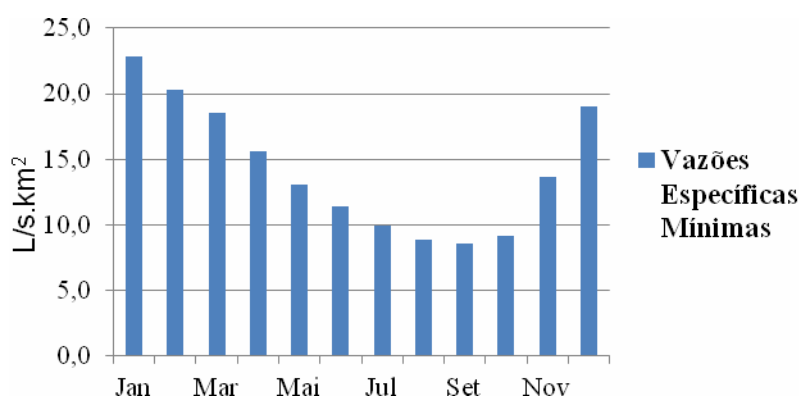


FIGURA 4. Distribuição mensal das vazões específicas mínimas.

A seguir são apresentadas as análises das vazões através do conjunto de critérios, com o objetivo de identificação dos períodos quadrimestrais.

1º Princípio: As médias descontam tudo: No Quadro 2 é apresentado um resumo dos valores das vazões médias, mínimas e máximas para a bacia. De acordo com as vazões máximas e médias o período seco está compreendido entre os meses de maio a outubro. Observa-se que a vazão máxima de novembro é significativamente superior a de maio, implicando na elevação da média mensal no mês.

Considerando as vazões mínimas o período seco também está definido entre maio e outubro, no entanto comparando a magnitude das vazões nos meses de maio e novembro, observa-se que a vazão do mês de maio é apenas 4% inferior a do mês de novembro, não sendo suficiente para a confirmação do período seco que poderia estar compreendido entre os meses de junho a novembro.

QUADRO 2. Resumo das vazões específicas médias, mínimas e máximas mensais

| Vazões específicas (L.s ⁻¹ km ⁻²) | Meses | | | | | | | | | | | |
|--|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|
| | Jan | Fev | Mar | Abr | Mai | Jun | Jul | Ago | Set | Out | Nov | Dez |
| Médias | 47,9 | 33,1 | 29,0 | 19,5 | 14,7 | 12,5 | 10,7 | 9,6 | 10,2 | 12,5 | 24,5 | 39,1 |
| Mínimas | 22,8 | 20,3 | 18,6 | 15,6 | 13,0 | 11,4 | 10,0 | 8,9 | 8,5 | 9,1 | 13,6 | 19,0 |
| Máximas | 158,4 | 78,6 | 75,2 | 36,5 | 23,0 | 16,6 | 13,6 | 13,0 | 19,8 | 29,5 | 72,3 | 129,6 |

2º Princípio: O regime hidrológico tem três tendências: No Quadro 3 e Figura 5 são apresentados os meses enquadrados nas tendências de média, mínima e máxima de acordo com este critério e os outros especificados a seguir.

QUADRO 3. Divisão do regime hidrológico em tendências de disponibilidade hídrica

| Tendência | Período | Meses |
|-----------|---------|-------------------------------------|
| Média | Normal | Abril, Maio, Junho, Julho |
| Mínima | Seco | Agosto, Setembro, Outubro, Novembro |
| Máxima | Chuvoso | Dezembro, Janeiro, Fevereiro, Março |

Entre as dificuldades encontradas para agrupamento dos meses com disponibilidade hídrica crítica em tendências foi o fato de novembro apresentar vazões mais elevadas que em julho e estar contemplado no período seco. Dessa

forma os outros critérios foram decisivos na identificação dos meses nos períodos sazonais.

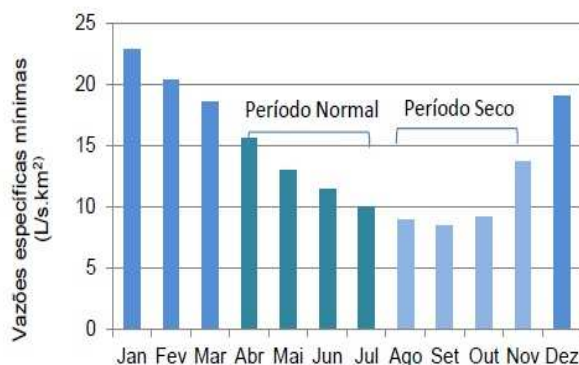


FIGURA 5. Divisão sazonal do regime hidrológico nos períodos seco, normal e chuvoso.

3º Princípio: As tendências ocorrem em três fases: Segundo a teoria proposta para classificação do regime hidrológico crítico, as tendências podem apresentar fases distintas, como movimento, reversão e estabilização.

Analisando a Figura 5, observa-se que das três fases, duas foram identificadas nos períodos seco e chuvoso. A fase de movimento das tendências possui duração curta, de um mês em ambos os períodos, seco e chuvoso, sendo respectivamente representados pelos meses de setembro e janeiro. Após o movimento no sentido das tendências, mínima e máxima, a fase de estabilização não foi observada nos períodos. Já a fase de reversão das tendências está representada pelos dois últimos meses dos períodos seco (outubro e novembro) e do período chuvoso (fevereiro e março).

Como esperado, o período normal apresentou apenas a fase de movimento, no sentido decrescente, já que o período representa a transição entre as tendências de vazões máximas e mínimas.

4º Princípio: As médias devem confirmar a tendência: As médias das vazões mínimas com sete dias de duração (Q_7) observadas em cada período confirmaram as tendências de disponibilidade hídrica média, mínima e máxima, uma vez que ficou comprovada a variação das vazões mínimas entre os períodos.

A variação da Q_7 entre os períodos foi um indicativo da flexibilidade das vazões de referência, pretendida com a adoção dos períodos sazonais em alternativa ao período anual. Em média, as vazões mínimas com sete dias de duração no período seco são praticamente iguais à Q_7 adotando-se o período anual. Existem pequenas variações devido aos raros anos em que os sete dias mais críticos não ocorrem no período seco. Conforme o Quadro 4, em média, as vazões mínimas dos períodos normal e chuvoso são 24% e 75% superiores ao período anual.

QUADRO 4. Diferença percentual média da Q_7 sazonal em relação à anual

| Variação (%) | Períodos Sazonais | | |
|--------------|-------------------|--------|---------|
| | Seco | Normal | Chuvoso |
| Q_7 | 1,43 | 24,13 | 75,36 |

5° Princípio: Os riscos comprovam as tendências: A avaliação mensal da frequência de ocorrência dos sete dias consecutivos com menores vazões observadas no ano confirmou a classificação dos meses nas tendências de mínima, média ou máxima disponibilidade hídrica crítica.

No Quadro 5 é apresentado o número de ocorrências de Q₇ anual em cada mês do ano, assim como a sua frequência. Ressalta-se a comparação das ocorrências de Q₇ nos meses de julho e novembro, sendo que em novembro o número de ocorrências é quase o dobro de julho, confirmando as tendências dos períodos, sendo este princípio decisivo no agrupamento dos meses em períodos com regimes críticos homogêneos.

O período seco concentra 88% das ocorrências de Q₇ anual, ou seja, em média há 88% de risco para a ocorrência da semana (sete dias) mais seca do ano nos meses de agosto a novembro. No período normal, de abril a julho, este risco é de 6,6%. No período chuvoso ainda há risco de ocorrência da Q₇ anual, mas de apenas 5,5%, conforme a Figura 6.

QUADRO 5. Diferença percentual média da Q₇ sazonal em relação à anual

| Período | Meses | Ocorrências | % |
|---------|-----------|-------------|-------|
| Normal | Abril | 0 | 0,00 |
| | Maio | 0 | 0,00 |
| | Junho | 2 | 2,20 |
| | Julho | 4 | 4,40 |
| Seco | Agosto | 9 | 9,89 |
| | Setembro | 35 | 38,46 |
| | Outubro | 29 | 31,87 |
| | Novembro | 7 | 7,69 |
| Chuvoso | Dezembro | 3 | 3,30 |
| | Janeiro | 1 | 1,10 |
| | Fevereiro | 0 | 0,00 |
| | Março | 1 | 1,10 |
| Total | | 91 | 100 |

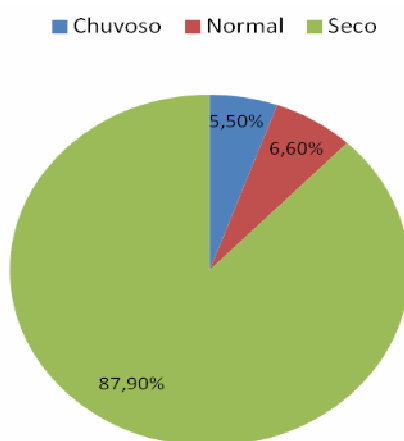


FIGURA 6. Análise de frequência da Q₇ anual dos períodos com tendências homogêneas.

6° Princípio: As tendências são confirmadas pela flexibilidade das vazões mínimas: A garantia de flexibilidade dos critérios de outorga, ao adotar a sazonalidade das tendências identificadas na bacia, foi novamente confirmada, pela comparação entre

as vazões mínimas de referência ($Q_{7,10}$) dos períodos sazonais com o período anual (Quadro 6).

QUADRO 6. Diferença percentual média das vazões sazonais em relação à vazão anual

| Vazão de referência | Flexibilidade Média Sazonal | | |
|---------------------|-----------------------------|--------|---------|
| | Seco | Normal | Chuvoso |
| $Q_{7,10}$ | 0,97 | 19,24 | 52,56 |

Correspondendo às expectativas, não houve uma flexibilidade significativa da $Q_{7,10}$ do período seco, pois foram raros os casos em que a Q_7 anual ocorreu fora deste período. Devido a estes casos, houve situações em que a $Q_{7,10}$ referente ao período seco foi maior que a $Q_{7,10}$ do período anual.

Pela análise dos critérios sugeridos por MARQUES (2010) para a identificação dos períodos sazonais observa-se que estes reuniram meses com comportamento hidrológico homogêneo em termos da disponibilidade hídrica crítica, a citar: quadrimestre seco (agosto a novembro), normal (abril a julho) e chuvoso (dezembro a março).

No Quadro 7 são apresentadas as vazões mínimas de referência anuais e quadrimestrais estimadas para cada estação fluviométrica utilizada no estudo.

QUADRO 7. Vazões mínimas de referência anuais e quadrimestrais nas estações fluviométricas

| Estações fluviométricas | $Q_{7,10}$ ($m^3 s^{-1}$) | | | |
|-------------------------|-----------------------------|--------------|-----------------|---------------|
| | Período normal | Período seco | Período chuvoso | Período anual |
| 56610000 | 8,07 | 5,56 | 8,99 | 5,14 |
| 56640000 | 3,41 | 2,74 | 5,04 | 2,87 |
| 56659998 | 17,89 | 16,98 | 23,69 | 17,12 |
| 56696000 | 33,52 | 27,97 | 42,74 | 27,61 |

No Quadro 8 estão apresentadas as equações de regionalização obtidas para os períodos sazonais (normal, seco e chuvoso) e para o período anual utilizadas na determinação da disponibilidade hídrica em qualquer seção ao longo da hidrografia da bacia do rio Piracicaba.

QUADRO 8. Equações de regionalização para os períodos anual e quadrimestrais em função da área de drenagem

| Períodos | Equações | R^2 | Erro padrão |
|----------|----------------------------------|-------|-------------|
| Normal | $Q_{7,10}=0,015981.A^{0,882214}$ | 0,994 | 0,093 |
| Seco | $Q_{7,10}=0,008634.A^{0,937262}$ | 0,990 | 0,126 |
| Chuvoso | $Q_{7,10}=0,026638.A^{0,847922}$ | 0,981 | 0,163 |
| Anual | $Q_{7,10}=0,009314.A^{0,925826}$ | 0,979 | 0,187 |

Considerando o número limitado de estações fluviométricas existentes na bacia do rio Piracicaba, a área de drenagem foi à única característica física utilizada para o ajuste das equações de regionalização, e também pelo mesmo motivo utilizou-se apenas uma região homogênea.

De acordo com os resultados apresentados no Quadro 8, observa-se que o modelo potencial foi o que melhor se ajustou aos dados de vazão das estações fluviométricas para todos os períodos estudados, apresentando valores de

coeficiente de determinação superiores a 0,97 com erro relativo menor que 0,20.

No Quadro 9 estão apresentados os valores das vazões mínimas observadas e estimadas pelas equações de regressão, bem como o erro percentual entre os valores observados e estimados.

QUADRO 9. Valores da $Q_{7,10}$ em m^3s^{-1} , observados e estimados pelos modelos de regressão, e erro percentual (Ep), em %, entre os valores observados e estimados das estações fluviométricas utilizadas no estudo

| Código | $Q_{7,10}$ | | | | | | | | | | | |
|----------|------------|--------|--------|--------------|-------|-------|----------------|-------|-------|-----------------|-------|--------|
| | Anual | | | Período seco | | | Período normal | | | Período chuvoso | | |
| | obs*. | est**. | Ep*** | obs. | est. | Ep | obs. | est. | Ep | obs. | est. | Ep |
| 56640000 | 2,87 | 2,53 | -11,77 | 2,74 | 2,52 | -8,19 | 3,41 | 3,34 | -2,15 | 5,04 | 4,52 | -10,34 |
| 56610000 | 5,14 | 6,42 | 24,84 | 5,56 | 6,45 | 15,98 | 8,07 | 8,09 | 0,28 | 8,99 | 10,59 | 17,79 |
| 56659998 | 17,12 | 16,39 | -4,24 | 16,98 | 16,67 | -1,85 | 17,98 | 19,78 | 10,02 | 23,69 | 25,00 | 5,53 |
| 56696000 | 27,61 | 26,16 | -5,24 | 27,97 | 26,75 | -4,35 | 33,52 | 30,88 | -7,87 | 42,74 | 38,36 | -10,25 |

* Valores de $Q_{7,10}$ observados;

** Valores de $Q_{7,10}$ estimados pelas equações de regionalização; *** Erro percentual.

Pelos resultados do Quadro 9, verifica-se que os erros percentuais relativos à $Q_{7,10}$ variaram entre - 11,77 e 24,84%, valores esses observados para o período anual, ou seja, o período que apresentou maiores erros na estimativa da vazão. Os erros obtidos para o período seco estão entre - 8,19 a 15,98%. Esse resultado confirma as vantagens de se adotar a sazonalidade na determinação da disponibilidade hídrica, uma vez que além da flexibilização na vazão disponível para as outorgas, os erros de sua estimativa são menores, comparado ao período anual, que é o atualmente praticado pelos órgãos gestores de recursos hídricos. Para o período normal os erros percentuais foram os menores observados, dentre todos os períodos analisados.

Os erros percentuais foram maiores para as estações com menor área de drenagem (5664000 e 56610000) em todos os períodos, exceto para o período normal no qual a tendência foi contrária.

MARQUES (2010) estimou as equações de regionalização para a bacia do rio Doce, estando à bacia do rio Piracicaba enquadrada na região homogênea quatro, juntamente com outra sub-bacia, ou seja, uma área de drenagem maior que a apresentada pelo estudo. As equações de regionalização obtidas pelo autor, para os quadrimestres têm como característica física dependente a área de drenagem, no entanto para o período anual a precipitação total anual também foi utilizada. Os erros percentuais entre as vazões observadas e estimadas pelas equações de regionalização variaram de - 3,27 a - 36,18%, e enfatiza-se que os resultados obtidos para a bacia do Piracicaba são mais satisfatórios, pois apresentam menores erros de estimativa.

CONCLUSÃO

A análise dos resultados obtidos permitiu concluir que:

- ✓ O modelo potencial foi o que melhor se ajustou aos dados de vazão das estações fluviométricas para todos os períodos estudados; e
- ✓ As estimativas das vazões mínimas na bacia do rio Piracicaba e sua respectiva regionalização fornecem subsídios para a tomada de decisão no processo de gestão de recursos hídricos.

AGRADECIMENTOS

Ao CNPq pelo auxílio financeiro e a CAPES pela concessão da bolsa.

REFERÊNCIAS

AGRA, S.G. **Enfoque ecossistêmico aplicado à gestão dos recursos hídricos**. Ministério do Meio Ambiente, Secretaria de Recursos Hídricos e Ambiente Urbano. Brasília-DF, abril de 2009.

BAENA, L.G.N. **Regionalização de vazões para a bacia do rio Paraíba do Sul, a montante de Volta Redonda, a partir de modelo digital de elevação hidrologicamente consistente**. Viçosa, MG: UFV, 2002. 135 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

CBH PIRACICABA - COMITÊ DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO PIRACICABA. 2011. Disponível em: <http://www.cbhpiracicaba.org.br/mat_vis.aspx?cd=6520>. Acesso: dez de 2011.

DOW, C. H. **Teoria de Dow**. Material não publicado. 1884.

ELETROBRÁS. Centrais Elétricas Brasileiras S.A. **Metodologia para regionalização de vazões**. Rio de Janeiro, 1985.

LISBOA, L. MOREIRA, M. C., SILVA, D. D.; PRUSKI, F. F. Estimativa e regionalização das vazões mínimas e média na bacia do rio Paracatu. **Revista Engenharia na Agricultura**, Viçosa, v. 16, n. 4, 471 – 479, 2008.

MARQUES, F. A. **Sistema de Controle Dinâmico para a Gestão dos Usos Múltiplos da Água**. Viçosa, MG: UFV, 2010. 234 p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

MAMUN, A. A.; HASHIM, A. DAOUD, J. I. Regionalization of low flow frequency curves for the Peninsular Malaysia. **Journal of Hydrology**, v. 381, p.174-180, 2010.

MASIH, I.; UHLENBROOK, S. e AHMAD, M. D. Regionalization of a conceptual rainfall–runoff model based on similarity of the flow duration curve: A case study from the semi-arid Karkheh basin, Iran. **Journal of Hydrology**, v. 391, 188–201, 2010.

MOREIRA, M.C. **Gestão de recursos hídricos: sistema integrado para otimização da outorga de uso da água**. Viçosa, MG: UFV. 2006. 97 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

NOVAES, L.F. **Modelo para a quantificação da disponibilidade hídrica na bacia do Paracatu**. Viçosa, MG: UFV. 2005. 104 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

SAMUEL, J.; COULIBALY, P.; METCALFE, R. A. Estimation of continuous streamflow in Ontario ungauged basins: Comparison of regionalization methods. **Journal of Hydrology**, v. 16, p. 447, 2011.